



Ermittlung des Investitionsvolumens zur energetischen Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands auf Grundlage von CO₂-Minderungs-Szenarien und Klimaschutzstrategien am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel

Achim Hamann

Online publiziert: 21. August 2015

© Die Autor(en) 2015. Dieser Artikel ist auf Springerlink.com mit Open Access verfügbar.

Zusammenfassung Betrachtungen zu Klimaschutzzielen sind inzwischen beim Nichtwohngebäudebestand angekommen. Das resultierende jährliche Investitionsvolumen ist dabei immobilienökonomisch ebenso von Interesse, wie die Leitparameter zur Erreichung der CO₂-Minderungen beim Nichtwohngebäudebestand bis zum Jahr 2050. Damit Antworten geliefert werden können, ist zunächst die lückenhafte Datengrundlage bei den beheizten Nichtwohngebäuden zu verbessern. Ein Modell für die Stadtteil- und Stadtebene auf Basis örtlich überprüfter Liegenschaftsdaten aus einem Geografischen Informationssystem wird dazu vorgestellt. Bezogen auf die CO₂-Emissionen aus der Erzeugung der Raumwärme für Nichtwohngebäude wird für den Untersuchungsraum im Bereich von Wuppertal festgestellt, dass der Anteil etwa 13 % der CO₂-Gesamtemissionen beträgt. Auf Grundlage der ermittelten Bestandsdaten für das Jahr 2010 werden CO₂-Minderungs-Szenarien zum gesamten Nichtwohngebäudebestand bis zum Jahr 2050 aufgezeigt. Ergänzend wurde als Grundlage von Szenarienvarianten eine Akteursbefragung in Wuppertal-Vohwinkel zu den Teilbeständen der kirchlichen Einrichtungen und privaten Büroflächen berücksichtigt. Mit Hilfe der Szenarien konnten die Verläufe der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 analysiert und Leitparameter zur Zielerreichung bis zum Jahr 2050 abgeleitet werden. Die Ergebnisse stellen Grundlagen zu ersten Abschätzungen des jährlich notwendigen Investitionsvolumens zur energetischen Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands dar. Das jährliche Investitionsvolumen wird auf dieser Grundlage bis zum Jahr 2020 für den Stadtteil Vohwinkel (ca. 30.000 Einwohner) und für die Stadt Wuppertal (ca. 350.000 Einwohner) abgeschätzt.

Schlüsselwörter Nichtwohngebäudebestand · Modernisierung · CO₂-Emissionen · Szenarien · Befragung · Investitionskosten

A. Hamann (✉)
RS-Plan AG,
Bad Kreuznach, Deutschland
E-Mail: achim.hamann@rs-plan.com

Abstract Considerations to climate protection goals have now arrived at the non-residential buildings. The resulting annual investment volume is of interest as well as the core parameters to achieve climate protection goals in existing non-residential buildings till the year 2050.

Due to the incomplete database, heated non-residential buildings, in comparison to residential buildings, are not or are only partly considered in analysis to reduce CO₂ emissions in the building sector. Therefore the study focuses on the space heating of existing non-residential buildings. A calculation method is constructed based on locally verified real estate data using a geographic information system. The calculation method is then applied to the study area Wuppertal-Vohwinkel (about 30.000 inhabitants) for the year 2010. Based on the identified building data base from 2010, CO₂ reduction scenarios until 2050 are shown. The calculation method is based upon verified local real estate data as well as on definitions for non-residential building categories, building age groups and characteristic heating values. The characteristic heating values for the building age groups are derived from empirical consumption-orientated data from literature and also from calculations in this study.

The results gained within the neighborhood limits of Wuppertal-Vohwinkel are the basis for a simplified rapid analysis method. This method will be used for the analysis and reflection on local not verified real estate data, of the entire city limit of Wuppertal (about 350,000 inhabitants). Hereby the breakdown in categories, building age groups and characteristic heating values can be neglected. Additional an extrapolation is presented for the whole city, with the help of the results to the neighborhood limits of Wuppertal-Vohwinkel. This can be performed without an analysis of real estate data of the complete city and can be used to generate a first estimation.

Overall, it is noted that the CO₂ emissions from the origination of space heating for non-residential buildings is about 13 % of total CO₂ emissions. Applied to the whole space heating sector (including residential buildings), the proportion of CO₂ emissions from heated non-residential buildings is about 42 %. The percentage of CO₂ emissions from economic buildings amounts to about 82 % from existing heated non-residential buildings. Non-profit organizations cause the remaining approximate 18 % of CO₂ emissions.

Furthermore, scenarios until 2050 are developed to evaluate future developments and main parameters up to the year 2050. The year 1990 is used as the CO₂ benchmark in the scenarios. The scenarios are created from variations of the relevant key parameters. In addition to this, building stakeholder interviews were conducted within the neighborhood of Wuppertal-Vohwinkel at church facilities and private office spaces. A result, among others, stakeholder estimations to the future developments of their non-residential buildings concerning building exterior, heating technology and energy mix are obtained. The scenarios help to analyze the courses of primary energy and CO₂ emissions until 2050. The scenarios show the relevant values for the main parameters: characteristic heating values, modernization rate, building space increase and energy mix. Moreover the proportional impacts of the parameters are presented in terms of an efficiency-consistency-sufficiency strategy for achieving the minimum CO₂ targeted goal to decrease current levels by 80 % till 2050. The scenario trend business as usual shows a reduction till 2050 of about

50 %. To achieve at least 80 % CO₂ reduction till 2050, additional efforts are necessary and feasible with the following five measures:

1. the energy efficiency rate is quickly increase of 0.65 % to at least 2 % per year,
2. renewable heat energy in areas with no district heating shall be increased to 56 %,
3. new constructions must be compensated with an equal demolition rate,
4. the practical construction complexity should not cause higher consumption, as they are being planned,
5. and the characteristic heating values must be reduced at least by a factor of three to five.

The results of the scenarios represent bases for estimating the required annual investment volume for energetic adaptation of the existing non-residential buildings. The annual investment volume is estimated for the district Wuppertal-Vohwinkel and the entire city of Wuppertal till the year 2020. For the district Wuppertal-Vohwinkel a necessary annual investment of 13.6 Mio. Euros can be estimated till the year 2020. About 3.4 Mio. Euros per year must be invested in the modernization of existing buildings and 10.2 Mio. Euros in new buildings. Using an extrapolation of the annual investment volume for the entire city of Wuppertal 148 Mio. Euros can be estimated. About 37 Mio. Euros per year must be invested in energetic modernization.

Keywords Non-residential buildings · Modernization · CO₂-Emissions · Scenarios · Interviews · Investment volume

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Als politisches Ziel wurde bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs bei Gebäuden um 80 %, bezogen auf den Bedarf im Jahr 1990, definiert.¹ Diese Ziele haben Einfluss auf das notwendige Investitionsvolumen. Das erforderliche Investitionsvolumen beim Nichtwohngebäudebestand auf Grund notwendiger Modernisierungen in Bezug auf die klimapolitischen Ziele ist nur schwierig abzuschätzen, da die Datengrundlage lückenhaft ist und Nichtwohngebäude bisher nur unzureichend bei Forschungen im Vergleich zum Wohngebäudebestand berücksichtigt werden. Es muss zunächst eine Datengrundlage geschaffen und dabei der Raumwärmesektor bei Nichtwohngebäuden stärker in den Fokus gerückt werden. Daher erfolgt hier eine Eingrenzung auf den Raumwärmebereich.

Ohne die Schaffung einer Datenbasis zum Nichtwohngebäudebestand und darauf aufbauende Szenarien ist es für Untersuchungen zur Stadtebene nicht möglich notwendige Investitionen zur energetischen Modernisierung abzuschätzen und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011, S. 22–23.

1.2 Stand der Forschung

Der Raumwärmebereich verursachte in Deutschland im Jahr 2007 einen anteiligen Endenergieverbrauch von 32,8 %.² Gemäß Datenbasis zum Jahr 2009 existieren etwa 40 Mio. Wohnungen bzw. etwa 18 Mio. Wohngebäude mit rund 3,4 Mrd. Quadratmetern Wohnfläche.³ Die Datengrundlage zum Nichtwohngebäudebestand basiert auf groben Schätzungen und ist sehr unvollständig. Es gibt keine offiziellen Zahlen zum aktuellen Nichtwohngebäudebestand.⁴ Die letzte Erhebung zum Nichtwohngebäudebestand erfolgte 1950.⁵ Aktuelle bundesweite Schätzungen gehen für den Nichtwohngebäudebestand von etwa 2,5 bis 3,7 Mio. Gebäuden und ca. 2,2 bis 3,9 Mrd. Quadratmetern Nutzfläche aus, wobei der beheizte Anteil auf etwa 1,26 bis 1,89 Mio. Gebäude geschätzt wird.⁶

Die Verwendung von Daten aus einem Geografischen Informationssystem (GIS) auf der Stadtteilebene mit örtlicher Überprüfung zur Steigerung der Genauigkeit zwecks Hochrechnung auf die Stadtebene wurde bisher ebenso wenig erforscht. Auf Grund dieser Ausgangslage und der bisher geringen Würdigung im Vergleich zum Wohngebäudebestand, insbesondere mit Blick auf die Zielerreichung im Jahr 2050, ergibt sich die Relevanz den Nichtwohngebäudebestand näher zu betrachten.

Dazu gehören auch erste Ansätze zu notwendigen Investitionen zwecks energetischer Modernisierung des Nichtwohngebäudebestandes auf der Stadtteil- sowie Stadtebene. Bisherige Untersuchungen zu Investitionen beziehen sich hauptsächlich auf Wohngebäude oder einzelne Nichtwohngebäudenutzungen. Untersuchungen zu bundesweiten Investitionen in den Nichtwohngebäudebestand, basieren auf Fach- und Umsatzsteuerstatistiken.⁷ Einzelne Kostenstrukturen sind infolge der unterschiedlichen Bauweisen, Bauteilaufbauten und Materialwahl nicht mit Wohngebäuden vergleichbar. Die hier angesetzten spezifischen Kosten dienen als Grundlage zu einer ersten Abschätzung und sind weiter zu verifizieren. Das Themenfeld weist insgesamt noch einen großen Forschungsbedarf aus.

1.3 Vorgehensweise und Zielsetzung

Zunächst wird ein Modell zur Beurteilung der Bestandssituation und insbesondere zu direkten CO₂-Emissionen aus der Raumwärme auf der städtischen Ebene vorgestellt. Des Weiteren werden Szenarien zur Beurteilung der energetischen Bestandsveränderungen bis zum Jahr 2050 aufbereitet. Das Modell basiert auf GIS-Daten mit Bezug zum Jahr 2010, wobei für den Untersuchungsraum auch die konkrete Startbilanz zum Jahr 1990 als Ausgangssituation erstellt wird. Dies erfolgt durch Berücksichtigung der Flächenentwicklungen von 1990 bis 2010 für Wuppertal-Vohwinkel und durch Anpassung der Brennstoffdaten sowie des Energiemixes. Ziel des Modells ist es, ein

² Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.), 2007, S. 25.

³ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011, S. 15.

⁴ Vgl. Hotze Susanne, Kaiser Christian et al., 2011, S. 6.

⁵ Vgl. Gülec T. et al., 1994, S. 71.

⁶ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011, S. 6 und S. 100–107.

⁷ Vgl. BMVBS (Hrsg.), 2011, S. 7.

städtisches Teilgebiet detailliert mit Hilfe örtlich überprüfter GIS-Daten zu betrachten und mit Hilfe dieser Erkenntnisse und mit wenig Aufwand Schätzungen mit größerer Genauigkeit zum gesamten Stadtgebiet (zum Nichtwohngebäudebestand) durchführen zu können. Dabei werden auf Grund unterschiedlicher Nutzungen und Akteure die beheizten Nichtwohngebäude in Wirtschaftsbauten (Profit-Organisationen) und in Gebäuden von Non-Profit-Organisationen differenziert. Dies erscheint sinnvoll, da gewinnstrebende und nichtgewinnstrebende Akteure ihre Gebäude unterschiedlich im Fokus haben und sich dieser Umstand auch auf die energetische Modernisierung auswirkt.

Gewinnstrebende Organisationen kümmern sich verstärkt um ihr Kerngeschäft. Die energetische Gebäudemodernisierung von Zweckbauten spielt im Alltagsgeschäft bisher keine relevante Rolle. Dagegen werden beispielsweise kommunale Gebäude energetisch modernisiert, da das Themenfeld eher als Kerngeschäft verstanden wird und auch Fördermittel beschafft werden. Im untersuchten Stadtteil Vohwinkel sind zum Beispiel etliche Schulgebäude und Kindergärten bereits energetisch saniert. Der Wirtschaftsbau hat dagegen bisher keine relevanten Maßnahmen umgesetzt. Dies belegen die Ergebnisse der durchgeführten Befragung und der örtlichen Begehung in Vohwinkel.

Mischgenutzte Gebäude werden dabei mit ihrem Nichtwohnflächenanteil ebenso berücksichtigt. Die Vorgehensweise wird mit Hilfe von GIS-Daten auf den Stadtteil Vohwinkel (ca. 30.000 Einwohner) und die Stadt Wuppertal (ca. 350.000 Einwohner) angewendet. Die Wahl fiel auf den Stadtteil Wuppertal-Vohwinkel auf Grund eines Workshops mit der Stadt und den Stadtwerken unter Mitwirkung des Wuppertal Instituts.

Die CO₂-Minderungs-Szenarien sollen bis zum Jahr 2050 die Fortentwicklung zum Wärmeenergieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen des Nichtwohngebäudebestands aufzeigen. Daraus werden die Leitparameter zum Erreichen der politischen Ziele abgeleitet. Aus den Ergebnissen der Szenarien werden ebenso die Sanierungsrate, die Neubau- und Abrissrate, die Umstiegsraten auf erneuerbare Heizenergien sowie die notwendigen zukünftigen Heizkennwerte (Verbrauchskennwerte) abgeleitet.

Damit liegen auf der Stadtebene Erkenntnisse zum Bestand und zu notwendigen Veränderungen zur Zielerreichung bei den CO₂-Emissionen zur Anwendung in Klimaschutzkonzepten vor. Ebenso können daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend als Ausgangsdaten für erste grobe Abschätzungen zu Investitionen zwecks Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands auf der Stadtebene aufbereitet.

2 Allgemeines zur Modellierung der Bestandssituation bei beheizten Nichtwohngebäuden

2.1 Methodische Vorgehensweise

Die Schaffung einer Datengrundlage muss generell unter Abwägung des Aufwandes, der Kosten und Datengenauigkeit erfolgen. Eine detaillierte Erhebung zum Nicht-

Wohngebäudebestand ist extrem aufwendig, zumal auch Daten zur Gebäudetechnik zu erheben sind. Ziel sollte es daher sein, ein vereinfachtes Bestandsmodell zu entwickeln, das auf aufwendige Gebäudeerhebungen vor Ort verzichten kann. Hierbei werden zunächst die Stadtteilebene und anschließend die Stadtebene betrachtet. Die Vorgehensweise liefert Ergebnisse hinsichtlich Gebäudeanzahl, zu Flächen, zum End- und Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf und zu CO₂-Emissionen infolge der Raumbeheizung.

Das Modell berücksichtigt Daten aus einem Geografischen Informationssystem für das Jahr 2010, die für die detaillierten Betrachtungen auf der Stadtteilebene vor Ort auf Plausibilität überprüft werden. Die überprüften GIS-Daten liefern eine vertretbare Genauigkeit und lassen sich als Grundlage zu energetischen Einschätzungen urbaner Flächen verwerten und erlauben Hochrechnungen von der ausgesuchten Stadtteilebene auf die Stadtebene. Die Aufbereitung der GIS-Daten erfolgte am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel. Damit die Bestandssituation zu beheizten Nichtwohngebäuden mit den Wohngebäuden verglichen werden konnte, wurde das Modell um einen Ansatz für Wohngebäude ergänzt.

Als Grundlage für das Modell werden neben den GIS-Daten Nichtwohngebäudekategorien, energetische Baualtersklassen und verbrauchsorientierte und zum Vergleich sowie Bewertung der Bandbreite bedarfsorientierte Heizkennwerte aufbereitet.

Die Nichtwohngebäudekategorien werden zur Differenzierung in verschiedene Profit- und Non-Profit-Organisationen aufgeteilt. Den Gebäudekategorien und Baualtersklassen werden beim Top-down-Modell verbrauchsorientierte Heizkennwerte und beim Bottom-up-Modell bedarfsorientierte Heizkennwerte zugewiesen. Die Verbrauchswerte basieren auf einer Literaturrecherche (vgl. Hamann 2014, S. 42–55), wobei die jeweilige Gebäudekategorie in der Literatur unabhängig von Baualtersklassen nur mit einem Kennwert zur Gebäudeebene berücksichtigt wird. Die Verbrauchswerte wurden daher auf die Baualtersklassen umgerechnet. Das Top-down-Modell betrachtet daher die Gebäudeebene allgemein mit wenigen Ausgangsdaten. Für das Bottom-up-Modell wurden Modellgebäude⁸, bestehend aus der jeweiligen Gebäudehülle und Gebäudetechnik, definiert. Dadurch wird die Gebäudeebene detailliert mit vielen Parametern betrachtet. Die Berechnungen zu den Bedarfswerten je Kategorie und Baualtersklasse erfolgte nach DIN V 18599. Im Weiteren wird das Top-down-Modell vorgestellt und die Grundlagen zum Bestandsmodell aufgezeigt.

2.2 Nichtwohngebäudekategorien

Die Erstellung der Nichtwohngebäudekategorien orientiert sich an den wesentlichen privaten und öffentlichen Nutzungen (Profit [P]- und Non-Profit-Organisationen [NP]). Dabei erfolgt eine Unterteilung in Haupt- und Unterkategorien.

Ziel ist es dabei, die Gebäudegruppen ausreichend zu differenzieren. Eine zu detaillierte Gebäudeeinteilung ist bei der hier vorgesehenen aufwandsorientierten Vorgehensweise nicht zielführend. Eine zu grobe Unterteilung wird dagegen der Bandbreite der Nutzungen und den damit verbundenen unterschiedlichen Heizenergieverbräuchen nicht gerecht.

⁸ Vgl. Hamann Achim, 2014, S. 56–66.

Tab. 1 Nichtwohngebäudekategorien Profit-Organisationen. (Quellen: Eigene Festlegungen (vgl. Hamann 2014, S. 38))

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie
<i>Profit-Organisation</i>			
9	Bürogebäude/Büroflächennutzung	9.1	Dienstleister
		9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik
		9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit
10	Produktion/Werkstatt/Lager	10.1	Produktion/Gewerbe
		10.2	Lager für Versand/Zentrallager/Logistik
		10.3	Werkstätten/Kleingewerbe
11	Heilbehandlung	11.1	Kliniken
		11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude
		11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude
		11.4	Fitnesscenter/Sporthallen

Es erfolgte eine Anlehnung an die Einteilungen gemäß „Forschungsbericht zu Verbrauchskennwerten“⁹. In diesem Forschungsbericht sind diverse Gebäudearten zu Gebäudegruppen zusammengefasst.

Insgesamt wurden 38 Gebäudekategorien festgelegt, die in 14 Hauptkategorien eingeteilt sind und durch Unterkategorien repräsentiert werden. In Tab. 1 ist die gewählte Gebäudekategorisierung (Haupt- und Unterkategorien) für Profit-Organisationen (P) ausschnittsweise dargestellt.

2.3 Baualtersklassen bis zum Jahr 2010

Die Baualtersklassen zum Bestand der Nichtwohngebäude orientierten sich zum einen an älteren Einteilungen gemäß IKARUS-Projekt¹⁰ (Forschungsprojekt 1990 bis 2003: Abkürzung für „Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien“) und zum anderen an einer eigenen Fortentwicklung zwecks Aktualisierung der Baualtersklasse D. Diese wurde in einer Veröffentlichung¹¹ zu IKARUS von 1994 noch als Neubau bezeichnet. Aktualisiert bildet sie den Zeitraum 1995 bis 2010 ab. Grundsätzlich ist es mit Hilfe einer Klassifizierung zum Alter bzw. energetischen Alter möglich, eine Einstufung durch Heizkennwerte vorzunehmen, da sich der Heizenergieverbrauch altersabhängig infolge der Bauweise, der eingesetzten Baumaterialien und der Heiztechnik sowie aus der Nutzung ergibt. Das tatsächliche Alter ist dabei durch das sogenannte energetische Alter infolge von bereits durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen, angelehnt am energetischen Standard, zu ersetzen und die Baualtersklasse entsprechend zu wählen.

Die ältere Systematik wurde bei der eigenen Fortentwicklung unter Berücksichtigung der im Jahr 1995 eingeführten Wärmeschutzverordnung von 1994

⁹ Vgl. ages GmbH (Hrsg.), 2010, S. 4 und Anhang 2.

¹⁰ IKARUS: Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, mit Modell für Raumwärme im Gebäudesektor, Forschungsprogramm wurde 2003 eingestellt.

¹¹ Vgl. Gülec T. et al., 1994, S. 68.

Tab. 2 Baualtersklassen zum Bestand bis zum Jahr 2010. (Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis von Gülec et al. 1994, S. 68 und Schmid Christine et al. 2003, S. 47 (vgl. Hamann 2014, S. 40))

Baualtersklasse	Jahreszahlen	Anmerkung
A	Bis 1951	Relevante energetische Baualtersklassen für Ist-Situation in 2010, angelehnt an Jahreszahlen
B	1952 bis 1977	
C	1978 bis 1994	
D	1995 bis 2010	

(WärmeschutzV 1994¹²) ergänzt.¹³ Zusätzlich wird die Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2002 berücksichtigt. Es ist dabei festzuhalten, dass erstmals die im Jahr 2009 eingeführte EnEV 2009 und bei Neubauten das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)¹⁴ deutlich höhere Anforderungen an die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik bzw. die einzusetzende Heizenergie stellten. Da Planungs- und Genehmigungsprozesse zu zeitlichen Verschiebungen führen, wirkt sich die Einführung der EnEV 2009 und das EEWärmeG jedoch nicht auf den untersuchten Bestand des Jahres 2010 aus. Die Nichtwohngebäude wurden mit Hilfe der Vor-Ort-Plausibilisierung den Baualtersklassen gemäß Tab. 2 zugeordnet, wobei bereits durchgeführte, erkennbare Sanierungsarbeiten Berücksichtigung fanden.

2.4 Bezugsgröße Bruttogrundfläche

Der Wärmeenergiebedarf wird bei Nichtwohngebäuden gemäß Berechnungen nach EnEV¹⁵ auf die Nettogrundfläche (NGF) bezogen. Verbrauchswerte sind in der Literatur (vgl. Hamann 2014, S. 41) dagegen mit Bezug auf die Bruttogrundfläche beispielsweise in einem Forschungsbericht¹⁶ zu finden. Insgesamt ist demnach eine einheitliche Bezugsgröße zu definieren. Insbesondere, da hier Untersuchungen beabsichtigt waren, die sich auf digitale Kataster- bzw. Liegenschaftsdaten aus einem Geografischen Informationssystem beziehen. Da die digitalen Liegenschaftsdaten die Gebäudegrundflächen als äußeren Umriss beinhalten, ist als Bezugsgröße die Bruttogrundfläche (BGF) vorgesehen. Die Heizkennwerte mit Nettogrundflächenbezug können demnach unter Berücksichtigung eines Flächenumrechnungsfaktors bei Anwendung von GIS-Daten auf eine Bruttogrundfläche bezogen werden. Die Flächenumrechnung in Bruttogrundfläche ist beispielsweise in Anlehnung an die Ziffern des Bauwerkszuordnungskataloges möglich (vgl. Hamann 2014, S. 36–38).

¹² Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16.8.1994.

¹³ Vgl. Schmid Christine, Brakhage Anselm et al., 2003, S. 47.

¹⁴ Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz-EEWärmeG) vom 7.8.2008 (BGBl. I S. 1658); zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 68, Gesetz vom 22.12.2011 (BGBl. I S. 3044).

¹⁵ Vgl. Energieeinsparverordnung, EnEV 2009, § 2, Satz 15 und § 4 Abs. 1.

¹⁶ Vgl. ages GmbH (Hrsg.), 2010.

Der Faktor zur Umrechnung von Bruttogrundflächen in Nettogrundflächen liegt hier zwischen 0,83 und 0,91.¹⁷ In einer „Benchmarkstudie“¹⁸ wird anhand von Beispielgebäuden eine lineare Funktion der Form $NGF = 0,9052 \cdot BGF$ mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9994$ angegeben. Zusätzlich wird in der genannten Studie darauf hingewiesen, dass die Flächenumrechnung kein vordringliches Problem darstellt und eine detailliertere Umrechnung nicht sinnvoll ist. Demnach erfolgt für alle Gebäudekategorien, bei denen verbrauchsorientierte Heizkennwerte mit der Bezugsfläche NGF recherchiert wurden, eine Umrechnung der Heizkennwerte auf BGF mit Hilfe eines gerundeten Umrechnungsfaktors von 0,9.

2.5 Verbrauchsorientierte Heizkennwerte

Zunächst mussten verbrauchsorientierte Heizkennwerte aus Datenerhebungen gemäß Literaturoswertung (vgl. Hamann 2014, S. 42–55) auf die vier Baualtersklassen A bis D nach Tab. 2 umgerechnet werden. Damit ist eine wärmeenergetische Differenzierung der Gebäude nach Alter möglich. Die Umrechnung ergibt sich aus der Gewichtung der Datensätze und in Anlehnung an Bedarfswerte (ebenfalls aus Literatur, vgl. Hamann 2014, S. 52) je Baualtersklasse wie folgt:

$$HK_{v,i,j} = \frac{HK_{v,v} \cdot BK_{A-D}}{BK_{A-D}} = \frac{\sum_{v=1}^y AZ_v \cdot HK_{v,v}}{\sum_{v=1}^y AZ_v} \cdot \frac{HK_{B,b}}{\frac{1}{n} \sum_{b=1}^z HK_{B,b}} \quad (1)$$

Folgende Parameter kommen dabei zum Ansatz:

- $HK_{v,i,j}$ berechneter Heizkennwert je Gebäudekategorie (i) und Baualtersklasse (j) aus gewichtetem Mittel der Verbrauchskennwerte sowie Baualtersklassenfaktor aus Bedarfskennwerten je Baualtersklasse A bis D
- $HK_{v,v}$ gewichteter Mittelwert zum Heizkennwert je Gebäudekategorie aus Verbrauchswerten
- BK_{A-D} berechneter Baualtersklassenfaktor aus Bedarfskennwerten der Baualtersklasse A bis D je Gebäudekategorie
- $HK_{v,v}$ Heizkennwert Gebäudekategorie gemäß Literaturrecherche
- AZ Anzahl der Datensätze gemäß Literaturrecherche
- v, y Zähler zur Anzahl der Stichprobenumfänge
- b, z Zähler zu baualtersklassenspezifischen Heizkennwerten aus Bedarfsberechnungen gebäudetypspezifische Heizkennwerte
- $HK_{B,b}$ Heizkennwert je Gebäudekategorie und Baualtersklasse aus Bedarfsberechnungen, aus Literatur

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den Verbrauchswerten sind ausschnittsweise in Tab. 3 in den Spalten „Anzahl Daten“ und „gewichtetes Mittel“ dargestellt.

¹⁷ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2009, S. 20–21.

¹⁸ Vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2009, S. 26–28.

Tab. 3 Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse, Non-Profit-Organisationen. (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 54))

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen				Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 1951	B 52–77	C 78–94	D 95- 2010
						Baualtersklassen kWh/(m²·a) BGF			
Nr.	Hauptkate- gorie	Nr.	Unterkategorie						
<i>Non-Profit-Organisation</i>									
1	Bildung	1.1	Schulen	4437	95,96	121,50	121,50	86,90	53,91
		1.2	Hochschulen/ Forschung	380	118,49	150,04	150,04	107,32	66,58
		1.3	Kindertagesstätten/ Kindergarten	2154	120,89	160,11	160,11	112,08	51,24
		1.4	Weiterbildungs- stätten	35	122,00	154,48	154,48	110,49	68,55
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude	2675	138,52	171,12	159,27	127,31	96,39
		2.2	Ämter/Polizei- gebäude/ Bahn	5425	115,56	142,92	132,89	106,12	80,31
3	Bereit- schafts- dienste			944	126,16	156,03	145,07	115,85	87,67

Die eigenen Umrechnungsergebnisse der Verbrauchswerte je Gebäudekategorie auf die Baualtersklassen sind mit Bezug auf Bruttogrundflächen (BGF) für die Gebäudekategorien der Non-Profit-Organisationen ebenfalls in Tab. 3 ausschnittsweise aufgeführt.

2.6 Datenaufbereitung aus Geografischen Informationssystem am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel

Die Datenaufbereitung bezieht sich auf die im GIS hinterlegten Daten zu Gebäudeflächen, Geschosshöhen und Gebäudenutzungen. Die GIS-Daten wurden vor Ort abgeglichen (Plausibilitätsprüfung). Dazu fanden örtliche Begehungen für den Stadtteil Vohwinkel statt. Unterstützend wurden internetbasierende Luftbilder hinzugezogen, die Einblicke in vom öffentlichen Straßenraum nicht einsehbare Bereiche zu liefern.

Der örtliche Abgleich zur Gebäudenutzung erfolgte in Anlehnung an die erstellten Gebäudekategorien. Durch die Plausibilitätsprüfung und Anpassung verschiedener GIS-Datensätze nach Abgleich mit der örtlichen Situation, konnte ein vereinfacht anwendbares Modell zur Bestandssituation unter Nutzung der ungeprüften Original-GIS-Daten für die Stadtebene geschaffen werden, was zu einer erheblichen Aufwandserleichterung und einem entsprechendem Zeitvorteil führt. Historische Luftbilder der Stadt Wuppertal unterstützten die Bewertungen zu den einzelnen Gebäuden bezüglich ihrer Baualtersklasse.

Für den Stadtteil Vohwinkel lagen insgesamt 15.323 Gebäudedatensätze vor. Hierin waren neben Wohn- und Nichtwohngebäuden auch beispielsweise unbeheizte landwirtschaftliche Gebäude, Schuppen, Garagen und Überdachungen enthalten. Die

wesentlichen Schritte zur Aufbereitung dieser GIS-Daten lassen sich für Vohwinkel wie folgt beschreiben:

1. Wohngebäude und nicht relevante Nichtwohngebäude (z. Bsp. Schuppen, Garagen, Tiefgaragen, Carports, Überdachungen) wurden eliminiert. Aus den insgesamt 15.323 Datensätzen konnten in Verbindung mit der örtlichen Überprüfung 1.057 als beheizte Nichtwohngebäude inklusive Stadthäuser mit Nichtwohnflächennutzungen ermittelt werden.
2. Diese wurden in 155 Gebäudedatensätze für Non-Profit-Organisationen und 902 Gebäudedatensätze für Profit-Organisationen (davon 161 Datensätze zu mischgenutzte Stadthäuser) unterschieden.
3. Den Datensätzen wurden energetische Baualtersklassen und somit Heizkennwerte mit Hilfe der Ortsbegehungen, historischen Luftbildern und internetbasierenden Luftbildern zugewiesen.
4. Zusätzlich wurde die jeweilige Nutzung gemäß Gebäudekategorisierung ergänzt und, falls gemäß örtlicher Überprüfung erforderlich, die Geschosszahl korrigiert.

Auf Grund der örtlichen GIS-Daten-Überprüfung zu den beheizten Nichtwohngebäuden kann folgende summierte Abweichung bei der relevanten Bruttogrundfläche zwischen den Originaldaten (BGF_{GIS}) und nach der Überprüfung ($BGF_{NP,P}$) festgestellt werden:

$$BGF_{GIS} = 1.162.499 \text{ Quadratmeter}$$

$$BGF_{NP,P} = 906.843 \text{ Quadratmeter}$$

Dies bedeutet, dass die örtliche Plausibilitätsprüfung der GIS-Daten in Vohwinkel eine Verbesserung der Flächengrundlage zum beheizten Nichtwohngebäudebestand um 22 % ($0,78 = 906.843/1.162.499$) liefert. Diese Erkenntnis kann für die Steigerung der Genauigkeit bei der Übertragung auf die Stadtebene genutzt werden.

2.7 Allgemeines zum Modellansatz für die Stadtteil- und Stadtebene

Der Modellansatz berücksichtigt zunächst die einzelnen Datensätze, unterschieden in Gebäudekategorien und Baualtersklassen. Aus den Grundflächen und Geschosshöhen der überprüften GIS-Daten ergeben sich die Bruttogrundflächen. Mit Hilfe von verbrauchsorientierten Heizkennwerten können zusätzlich für jede Gebäudekategorie und Baualtersklasse die Endenergieverbräuche berechnet werden. Weiterhin werden unter Anwendung von Faktoren zum Leerstand, zu klimatischen Anpassungen und zum Energieträgermix die CO_2 -Emissionen ermittelt. Die Ergebnisse sind je Baualtersklasse, Gebäudekategorie und Organisationsform darstellbar. Die energetischen Werte liefern nicht nur Aussagen zum energetischen Zustand des Nichtwohngebäudebestands, sondern sind im Weiteren Grundlage für Zukunftsbetrachtungen, die wiederum die Basis für das Investitionsvolumen darstellen.

Aus den Ergebnissen zum Stadtteil kann eine lineare Gleichung als vereinfachter Modellansatz für den betrachteten Stadtteil definiert werden. Mit dieser Gleichung ist es ohne Vor-Ort-Überprüfung auf Grundlage der Original-GIS-Daten möglich, den Bestand der beheizten Nichtwohngebäude auf der Stadtebene abzuschätzen. Alternativ kann eine Hochrechnung erfolgen. Die Hochrechnung basiert hierbei auf dem

Verhältnis der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten mit Bezug zur Stadtteil- und Stadtebene.

3 Beschreibung des Modellansatzes

3.1 Die Stadtteilebene

Zu den in Vohwinkel ermittelten 1.057 relevanten Datensätzen werden aus den Geschossflächen (GF) und der Anzahl der Geschosse (AN) die Bruttogrundflächen (BGF in Quadratmeter) je Gebäudekategorie (i) und Baualtersklasse (j) berechnet und eine Verknüpfung zu den Heizkennwerten je Gebäudekategorie und Baualtersklasse ($HK_{i,j}$) hergestellt. Die Modellrechnung zu den Flächen- und energetischen Verhältnissen (Endenergieverbrauch: End in Kilowattstunden pro Jahr) wird getrennt nach Non-Profit (NP)- und Profit-Organisationen (P) durchgeführt, wobei Ergebnisse zu jeder Gebäudekategorie und Baualtersklasse generiert werden. Die CO_2 -Emissionen (CO_2) in Tonnen pro Jahr zum betrachteten Stadtteil werden für die beheizten Nichtwohngebäude durch Berücksichtigung des Leerstandes (LE), der Energieträgeranteile (FE) und des Klimafaktors (Kf) berechnet. Nachfolgend wird der detaillierte Modellansatz zu den Flächenverhältnissen und der energetischen Situation auf Basis der örtlich überprüften GIS-Daten dargestellt.¹⁹

$$BGF_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j}) \quad (2)$$

$$End_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n BGF_{i,j} \cdot HK_{i,j} \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right) \quad (3)$$

$$CO_{2NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot LE \cdot FE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right) \quad (4)$$

Die Berechnung des Leerstandes unter Berücksichtigung der Leerstands-Monate (M) innerhalb der Heizperiode und einer prozentualen mittleren Leerstandsquote (Le) wurde in Anlehnung an eine Benchmarkstudie²⁰ abgeleitet und wie folgt eingeführt:

$$LE = 1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \quad (5)$$

¹⁹ Vgl. Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013, S. 50–53.

²⁰ Vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), S. 11 und S. 98.

Die Berücksichtigung von unterschiedlichen Energieträgern wie zum Beispiel Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Strom, Fernwärme, Hackschnitzel und Solarstrahlung erfolgte durch Summierung der Produkte aus prozentualen Anteil des Energieträgers (EQ), dem jeweiligen direkten CO₂-Emissionsfaktor (CO₂F in kg/kWh) und des dazugehörigen Primärenergiefaktors (PF). In Baumaterialien eingebettete und durch Bauprozesse verursachte CO₂-Emissionen sind nicht berücksichtigt. Diese sind mit Blick auf den Lebenszyklus auch von Interesse, was jedoch gesondert zu ermitteln ist bzw. das Modell noch ergänzt werden kann. Vorketten zu den Energieträgern sind dagegen berücksichtigt. Lebenszyklusbetrachtungen tragen dazu bei, neben der grundsätzlichen CO₂-Reduzierung durch Anpassungen an der Gebäudehülle und der Heiztechnik, CO₂-Emissionen durch eine entsprechende Auswahl von Baumaterialien zu mindern.

$$FE = \sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2 Fp}{1000} \right) \cdot PFp \quad (6)$$

Zur Berechnung der Primärenergie (QP in Kilowattstunden pro Jahr) wird der einheitenlose Energieträgerfaktor (FE_{qp}) eingeführt, der nur den Primärenergiefaktor je Energieträger enthält:

$$FE_{qp} = \sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFp \quad (7)$$

Zur rechnerischen Klimaanpassung der betrachteten Region sind die jeweiligen Gradtagszahlen (Gt) zu beachten, da die Literaturwerte zu den Verbrauchswerten (vgl. Hamann 2014, S. 84) klimabereinigt auf den Referenzstandort Würzburg bezogen sind (seit 01.05.2014 ist Potsdam Referenzstandort). Für Würzburg beträgt das langjährige Mittel 3.883 Kelvintage pro Jahr. Der Klimafaktor (Kf) ergibt sich aus dem Verhältnis:

$$Kf = \frac{Gt_{\text{Würzburg}}}{Gt} = \frac{3883}{Gt} \quad (8)$$

Der vollständige Modellansatz zur Ermittlung der CO₂-Emissionen aus der Raumbeheizung der Nichtwohngebäude und aus den örtlich überprüften GIS-Daten auf der Stadtteilebene als Grundlage für Betrachtungen zu zukünftigen Bestandsveränderungen kann beispielweise für die Profit-Organisationen (P) wie folgt beschrieben werden:

$$CO_{2P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HKv_{i,j} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2 Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right) \quad (9)$$

3.2 Die Stadtebene (Wuppertal)

Bei der Hochrechnung der Bruttogrundflächen ($BGF_{NP, PoSt} H$) der beheizten Nichtwohngebäude werden die Flächen zu den mischgenutzten Stadthäusern ($BGF_{St} H$, BGF_{St}) separat berücksichtigt.

Der allgemeine Hochrechnungsansatz zur Abschätzung der städtischen Verhältnisse zu Flächen, Endenergie und CO_2 -Emissionen lautet auf Grundlage des Verhältnisses der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (SVB, für Vohwinkel=9.896) wie folgt:

$$BGF_{NP, PoSt} H = \frac{BGF_{NP, PoSt}}{9.896} \cdot SVB \quad (10)$$

$$BGF_{St} H = \frac{BGF_{St}}{9.896} \cdot SVB \quad (11)$$

$$End_{NP, P} H = \frac{End_{NP, P}}{9.896} \cdot SVB \quad (12)$$

$$CO_{2NP, P} H = \frac{CO_{2NP, P}}{9.896} \cdot SVB \quad (13)$$

Bei der Berechnung der energetischen Verhältnisse für die Stadtebene sind der spezifische Leerstand und der Energiemix zur Stadtebene zu berücksichtigen.

4 Ergebnisse bei Anwendung des Modells auf Vohwinkel und die Hochrechnung auf Wuppertal

Als Grundlage für die Berechnungen sind zunächst die Leerstandsquote, wobei die Monate in der Heizperiode mit sechs angenommen werden, und der Energiemix zu bestimmen. Eine eigene Einschätzung zur Leerstandsquote zu den beheizten Nichtwohngebäuden in Vohwinkel ergab eine Größenordnung von etwa zehn Prozent. Die Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal schätzt den Leerstand zu gewerblichen Bauten und Büros in Vohwinkel auf etwa acht Prozent²¹.

Des Weiteren sind die Anteile der eingesetzten Energieträger für Vohwinkel und zwecks Hochrechnung auch für das Stadtgebiet von Wuppertal zu ermitteln. Bei den Energieträgern sind die leitungsgebundenen und nichtleitungsgebundenen Energieträger zu differenzieren. Eine Fernwärmeversorgung existiert in Vohwinkel im Vergleich zum sonstigen Stadtgebiet nicht.

Der Stadt Wuppertal liegen Erhebungen zu nichtleitungsgebundenen Energieträgern je Kehrbezirk vor.²² Diese Daten wurden für den Stadtteil Vohwinkel ausgewer-

²¹ Vgl. Volmerig Rolf, Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, 2013.

²² Vgl. Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, 2012.

Tab. 4 Energiemix Vohwinkel und Wuppertal. (Quellen: Stadt/Stadtwerke Wuppertal, DIN V 18599, Reutter Oscar et al. 2012 (vgl. Hamann 2014, S. 105))

Installierte Leistung nicht-leitungsgebundener Energieträger (in %): Gebäudebestand Vohwinkel	Energiemix inklusive leitungsgebundener Gasversorgung (in %): Gebäudebestand Vohwinkel	Energiemix (in %): Wohngebäudebestand Stadtgebiet Wuppertal	Energie-träger	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	Primär-energie-faktor (nicht erneuerbarer Anteil)
Heizöl 93,0%	Erdgas 56,0%	Erdgas 48,4%	Erdgas	0,202	1,1
Flüssiggas 4,0%	Heizöl 38,0%	Heizöl 32,1%	Heizöl	0,266	1,1
Holz 3,0%	Flüssiggas 2,0%	Flüssiggas	Flüssiggas	0,234	1,1
	Holz 1,5%	Holz 1,6%	Holz/Pellets	0	0,2
	Heizstrom 2,5%	Heizstrom 6,4%	Heizstrom	0,566	2,6
	Kohle 0,0%	Kohle 1,6%	Kohle	0,355	1,1
	Solarthermie 0,0%	Solarthermie 0,2%	Solar	0	0
	Fernwärme 0,0%	Fernwärme 9,8%	Fernwärme	0,207	0,7
Summe 100,0%	Summe 100%	Summe 100%			

tet und in Spalte 1 der Tab. 4 aufgeführt. Eine von den Wuppertaler Stadtwerken²³ zur Verfügung gestellte Tabelle zu Ermittlungen des Wärmeenergieverbrauchs in Vohwinkel konnte zusätzlich für die Beurteilungen des Energiemixes hinsichtlich der Anteile Erdgas (56 %), Heizöl (38 %) und Heizstrom (2,5 %) ausgewertet werden.

Der aus diesen Daten resultierende Energiemix für Vohwinkel ist in Spalte 2 der Tab. 4 dargestellt, wobei der Anteil Holz und Flüssiggas aus der Kehrbezirksanalyse auf Grund des etwa 50-prozentigen Anteils von Erdgas ebenso mit der Hälfte angenommen wurde.

Zusätzlich ist in Tab. 4 ist der Energiemix für Wuppertal aufgeführt. Der Energiemix für Wuppertal konnte der Studie „Low Carbon City Wuppertal 2050“²⁴ entnommen werden. Im 6,4-prozentigen Heizstromanteil sind rund 1,4 % Wärmeenergie durch den Betrieb von Wärmepumpen enthalten. Zur Bereitstellung der Wärmeenergie mit Hilfe einer Wärmepumpe werden ca. 25 % elektrische Energie notwendig. Der restliche Anteil wird zum Beispiel durch die Nutzung von Abwasserwärme, Geothermie oder Umweltwärme dem jeweiligen Medium entzogen.²⁵ Für Wuppertal wird ein Fernwärmanteil von 9,8 %²⁶ angegeben.

4.1 Ergebnisse zum Stadtteil Vohwinkel

In Tab. 5 sind die wesentlichen Ergebnisse zum beheizten Nichtwohngebäudebestand für das Jahr 2010 mit Hilfe des Top-down-Modells und ergänzend zum Wohngebäudebestand für Vohwinkel aufgeführt. Die Tabelle beinhaltet die Ergebnisse zu den

²³ Vgl. Wuppertal Stadtwerke, 2013.

²⁴ Vgl. Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012, S. 123 und S. 127.

²⁵ Vgl. Hamann Achim, 2012, S. 57–58.

²⁶ Vgl. Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012, S. 123 und S. 127.

Tab. 5 Berechnungsergebnisse zum Top-down-Ansatz für Vohwinkel im Jahr 2010. (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 112))

Ergebnisse zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand in Wuppertal-Vohwinkel, 2010, Energiemix Vohwinkel			
BGF _{NP} in m ²	189.544		
BGF _P in m ² inkl. Nichtwohnflächen in mischgenutzten Stadthäuser in m ²	717.299		
BGF _{NP,P} in m ²	906.843		
davon Nichtwohnflächen in mischgenutzten Stadthäuser in m ²	28.526		
BGF Baualtersklasse A in m ² :	68.403		
BGF Baualtersklasse B in m ² :	478.920		
BGF Baualtersklasse C in m ² :	246.157		
BGF Baualtersklasse D in m ² :	113.363		
BGF _W (ohne Nichtwohnflächen der Stadthäuser) in m ²	1.560.992		
End _{NP} (klimabereinigt) in kWh/a	21.652.125		
End _P (klimabereinigt) in kWh/a	98.230.677		
End _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	119.882.802		
End _W (klimabereinigt) in kWh/a	168.399.817		
End _{NP,P} und End _W (klimabereinigt) in kWh/a	288.282.619		
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	134.748.269	prozentuale Anteile:	
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a, %	6.010	7,51 %	18,06 %
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a, % inkl. Nichtwohnflächen in mischgenutzten Stadthäuser	27.265	34,07 %	81,94 %
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a, % inkl. Nichtwohnflächen in mischgenutzten Stadthäuser	33.274	41,59 %	
CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a, %	46.741	58,41 %	
Anteil Nichtwohngebäude NP, P an BGF in %	36.75		
CO _{2NP,P} und CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a, %	80.015	100,00 %	100,00 %
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1.07		

P Profit-Organisationen, *NP* Non-Profit-Organisationen, *W* Wohngebäude, *BGF_{NP,P}* Bruttogrundfläche aus örtlich überprüften GIS-Daten, *BGF_W* Bruttogrundfläche Wohngebäude, *End* Endenergieverbrauch, *QP* Primärenergieverbrauch, *CO₂* CO₂-Emissionen

Bruttogrundflächen, zum End- und Primärenergieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude inklusive der Nichtwohnflächen in den mischgenutzten Stadthäusern.

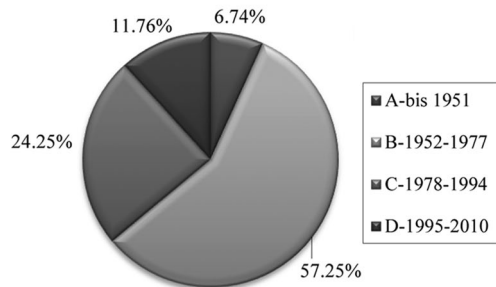
Die klimabereinigten CO₂-Emissionen zum gesamten beheizten Gebäudebestand betragen demnach in Vohwinkel unter Berücksichtigung des Leerstandes ca. 80.000 Tonnen pro Jahr. Daran haben die Wohngebäude (W) einen Anteil von 58,41 %, die Nichtwohngebäude der Profit-Organisationen (P) von 34,07 % und die Nichtwohngebäude der Non-Profit-Organisationen (NP) von 7,51 %. Werden nur die CO₂-Emissionen der beheizten Nichtwohngebäude mit etwa 33.000 Tonnen pro Jahr betrachtet, sind anteilig die Non-Profit-Organisationen mit rund 18 % und die Profit-Organisationen mit rund 82 % beteiligt.

Die Abb. 1 und 2 zeigen die Ergebnisse hinsichtlich der Flächenverhältnisse zu den Gebäudekategorien und Baualtersklassen. Zunächst sind die prozentualen Flächenanteile je Baualtersklasse aufbereitet. In Abb. 2 ist dagegen die prozentuale Verteilung der Flächen je Gebäudekategorie dargestellt. Die differenzierte Darstellung der Flächenverhältnisse ist für das energetische Investitionsvolumen von Interesse,

Abb. 1 Ergebnisdigramme zur Baualtersklassenverteilung in Vohwinkel. (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 109))

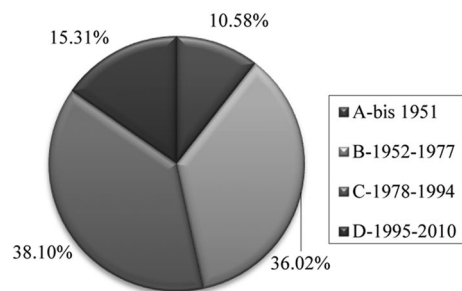
Profit-Organisationen:

Flächenanteile Baualtersklassen



Non-Profit-Organisationen:

Flächenanteile Baualtersklassen



da je Baualtersklasse und Gebäudekategorie spezifische Investitionen zur energetischen Bestandsanpassung aufgezeigt werden können.

In Abb. 3 wird die prozentuale und absolute Verteilung der CO₂-Emissionen zu den Hauptkategorien aufgezeigt. Dadurch wird deutlich, welche Nutzungen und Akteursgruppen zu welchem Emissionsanteil beitragen.

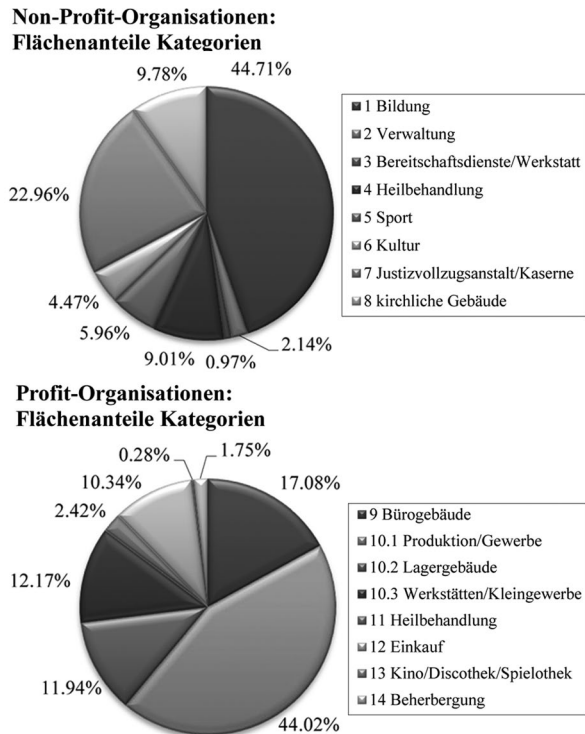
4.2 Hochrechnungsergebnisse für die Stadt Wuppertal

Die Ergebnisse der Hochrechnung, mit deren Hilfe die Flächenverhältnisse und energetischen Verhältnisse zum Stadtgebiet Wuppertal abgeschätzt werden, sind in Tab. 6 aufgeführt.

Die Gesamtbruttogrundfläche der beheizten Nichtwohngebäude kann für Wuppertal auf etwa 9,9 Mio. Quadratmeter geschätzt werden. Das sind rund 37 % des gesamten Gebäudebestandes. Die pro Kopf-Emissionen können zum Nichtwohngebäudebestand mit 1,13 Tonnen CO₂ pro Jahr angegeben werden. Für die Raumheizung der Wohn- und Nichtwohngebäude ergeben sich zusammen rund 3.155 Gigawattstunden pro Jahr (Endenergieverbrauch) und ca. 948.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Bezogen auf die CO₂-Bilanz der Stadt Wuppertal, die für das Jahr 2009 die gesamten CO₂-Emissionen mit 3.239.710 Tonnen²⁷ angibt, beträgt der Anteil aus der

²⁷ Vgl. GERTEC (Hrsg.), 2012, S. 6.

Abb. 2 Ergebnisdiagramme zur Flächenverteilung in Vohwinkel (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 110))



Raumwärme der beheizten Nichtwohngebäude rund 13 % (394.470 Tonnen) (vgl. Hamann 2014, S. 131).

4.3 Ergebnisse zur Startbilanz für das Jahr 1990

Die Erstellung der Startbilanz zur Raumwärmesituation der beheizten Nichtwohngebäude in Wuppertal-Vohwinkel wird notwendig, damit ein Bezug zum Referenzjahr hergestellt werden kann. Als Referenzjahr ist generell das Jahr 1990 definiert. Es ist zwar zu Gebäuden ein alternativer Sanierungsfahrplan denkbar, doch sollte hier der Bezug zu 1990 analog zum Gesamtbild hergestellt werden.

Die Flächenveränderungen zum Nichtwohngebäudebestand in Vohwinkel zwischen 1990 und 2010 wurden mit Hilfe einer Einschätzung zur Zuwachsrate abgeschätzt. Dies erfolgte auf Basis von Luftbildern aus dem Jahr 1991 und 1999 sowie den GIS-Daten zum Jahr 2010. Es wurde die Gebäudestruktur in Vohwinkel von 1991 mit der des Jahres 2010 verglichen und die Flächenveränderungen gegenübergestellt. Durch den Vergleich konnte ein Flächenzuwachs von etwa 0,5 % pro Jahr abgeschätzt werden.

Hinsichtlich der energetischen Verhältnisse und CO₂-Emissionen ist mit Hilfe des Bestandsmodells festzustellen, dass im Jahr 1990 die absoluten CO₂-Emissionen etwa 4,8 % höher lagen als 2010. Die pro-Kopf-Emissionen liegen dagegen trotz eines Rückganges der absoluten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2010 um 5,6 % höher als 1990. Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch liegen im Jahr 2010 um etwa

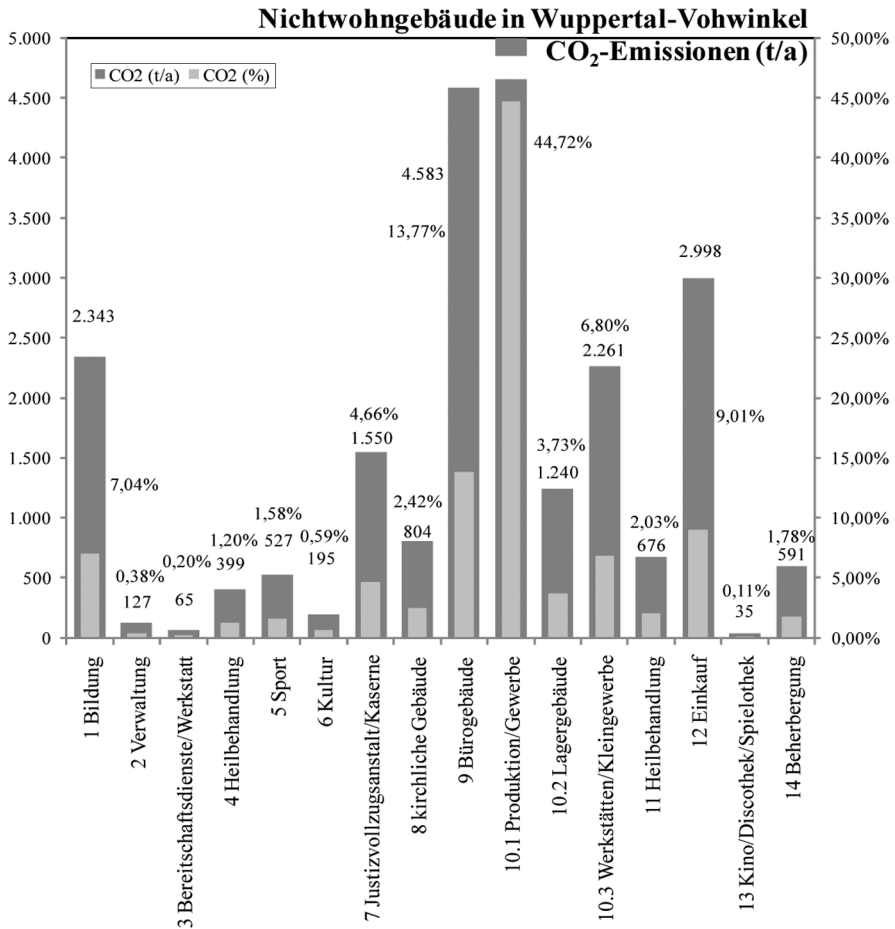


Abb. 3 CO₂-Verteilung je Gebäudehauptkategorie in Vohwinkel (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 107))

sechs Prozent bzw. vier Prozent höher als 1990. Insgesamt lassen sich demnach von 1990 bis 2010 keine relevanten Veränderungen aufzeigen.

Dies ist damit begründbar, dass einerseits die bauordnungsrechtlichen Randbedingungen erst mit Einführung der EnEV 2009 und des EEWärmeG's in 2009 relevante Verbesserungen bewirken und sich die Brennstoffdaten beim Heizstrom verringert bzw. sich der Energiemix verändert hat. Die deutlichen Verbesserungen seit Einführung der EnEV 2009 und des EEWärmeG's machen sich bei der nachfolgenden Szenariendarstellung auch durch den Rückgang der CO₂-Emissionen ab dem Jahr 2010 bemerkbar.

Tab. 6 Hochrechnungsergebnisse: Top-down-Ansatz für Wuppertal, 2010. (Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 130))

Hochrechnungsergebnisse zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand Wuppertal, Energiemix Wuppertal	
Top-down-Ansatz	
BGF_{NP} in m^2	2.074.450
BGF_p in m^2 (inkl. Stadthäuser)	7.850.423
$BGF_{NP, p}$ in m^2 (inkl. Stadthäuser)	9.924.872
BGF_W (ohne Nichtwohnflächen der Stadthäuser) in m^2	17.084.122
End_{NP} (klimabereinigt) in GWh/a	237
End_p (klimabereinigt) in GWh/a	1.075
$End_{NP, p}$ (klimabereinigt) in GWh/a	1.312
$QP_{NP, p}$ (klimabereinigt) in GWh/a	1.462
End_W (klimabereinigt) in GWh/a	1.843
CO_{2NP} (klimabereinigt) in t/a	71.248
CO_{2p} (klimabereinigt) in t/a	323.222
$CO_{2NP, p}$ (klimabereinigt) in t/a	394.470
CO_{2W} (klimabereinigt) in t/a	554.105
$CO_{2NP, p}$ (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1.13

P Profit-Organisationen, *NP* Non-Profit-Organisationen, *W* Wohngebäude, *End* Endenergieverbrauch, *QP* Primärenergieverbrauch, CO_2 CO_2 -Emissionen

5 CO_2 -Szenarien bis zum Jahr 2050

5.1 Allgemeines

Ziel ist es, mit Hilfe von Szenarien zukünftige Entwicklungen zu CO_2 -Emissionen im Bereich der Raumwärme beim Nichtwohngebäudebestand am Beispiel von Vohwinkel bzw. Wuppertal aufzuzeigen. Dabei sollen Leitparameter zur Erreichung von CO_2 -Minderungen um mindestens 80 % abgeleitet werden.

Als Grundlage für die Szenarien werden gebäudetechnische und volkswirtschaftliche Trends bis 2050 sowie Entwicklungen zu den Wärmeenergieträgern berücksichtigt. Zusätzlich fließen Ergebnisse aus einer durchgeführten Befragung bei Akteuren in Vohwinkel ein. Die Szenarien (Zukunftsbilder) zeigen als Ergebnisse für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 (Stützjahre der Berechnungen) Entwicklungen zu Gebäudedeflächen, zum Heizenergie- und Primärenergieverbrauch für die Raumwärme und die resultierenden CO_2 -Emissionen auf.

Es wurden mehrere Forecasting-Szenarien (Grundlage Schlüsselfaktoren: Trendentwicklungen, Akteursbefragung, Passivhausstandard, Flächenzuwachsvermeidung), welche die Gegenwart in die Zukunft hinein verlängern, betrachtet. Diese dienen zur Abschätzung der Leitparameter zwecks Zielerreichung. Ergänzend wurde ein Backcasting-Szenario bearbeitet, welches ausgehend vom politisch gewollten Zukunftszustand im Jahr 2050 den CO_2 -Verlauf analysiert. Das Backcasting-Szenario wird dabei als Leitszenario „Backcasting-Leit“ bezeichnet (vgl. Hamann 2014).

Zunächst wurde ein Ausgangsszenario als Forecasting-Szenario „Trendfortschreibung-business as usual“ (bau) zu allen Nichtwohngebäudekategorien aufbereitet. Da die zukünftigen Heizkennwerte auch von baupraktischen Einflüssen (Kosten-, Zeit- und Leistungsdruck, fehlerhafte Ausführungen) abhängen, werden diese beim

Trend-Szenario durch höhere Verbräuche berücksichtigt und das Szenario letztlich „Trend-bau-Baupraxis“ benannt.

Bei den Szenarien werden die Schlüsselfaktoren zu den Zukunftsbildern für die Stützjahre variiert. Die relevanten Schlüsselfaktoren werden auf Grundlagen der Bestandsmodellierung nachfolgend aufgeführt:

- Entwicklungen zu weiteren energetischen Baualtersklassen (E bis G) bis zum Jahr 2050
- Entwicklungen zu den Heizkennwerten je weiterer Baualtersklasse
- Entwicklungen zum Energiemix und zu den Anteilen der erneuerbaren Wärmeenergien
- Entwicklungen zu den Primärenergiefaktoren
- Entwicklungen zu den CO₂-Emissionsfaktoren
- Flächenentwicklungen je Baualtersklasse auf Grundlage von Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate

Mit Hilfe der Variationen zu den einzelnen Schlüsselfaktoren konnten deren Einflüsse aufgezeigt und insgesamt Leitparameter zur Zielerreichung abgeleitet werden. Die Schlüsselfaktoren wurden mit Hilfe von Annahmen zu Veränderungen beim Standard zur Gebäudehülle und zur Gebäudetechnik, beim Energiemix und bei Brennstoffdaten und bei volkswirtschaftlichen Randbedingungen abgeleitet. Eine Befragung zu Einschätzungen der Akteure hinsichtlich zukünftiger Veränderungen an ihrem Gebäudebestand lieferte ebenso Annahmen zu den Schlüsselfaktoren. Ergänzend wurden die Wirkungsanteile einer Effizienz-Konsistenz-Suffizienz - Strategie (Besser-Anders-Weniger)²⁸ aufbereitet. Dies ist erforderlich, da Effizienzmaßnahmen alleine nicht ausreichen. Die gewählten Szenarien und Erläuterungen zu den Variationen der Schlüsselparameter sind in Tab. 7 aufgeführt.

Zur Ermittlung der zukünftigen Flächenverhältnisse wurde ein Flächenentwicklungsmodell erstellt. Dieses baut auf bestehenden (A bis D) und zukünftigen (E bis G) Baualtersklassen zu den Gebäuden je Dekade auf, welche im betrachteten Jahrzehnt saniert, abgerissen oder durch Neubauten ersetzt werden.

5.2 Ergebnisse zu den CO₂-Szenarien für Wuppertal-Vohwinkel bis 2050

In der nachfolgenden Abb. 4 werden die zuvor aufgeführten CO₂-Szenarien (Forecasting- und Backcasting-Szenarien) mit prozentualen Bezug zum Referenzjahr 1990 dargestellt. Weiterhin ist der Zielverlauf der Stadt Wuppertal bis 2030 (gemäß Beschlusslage) aufgeführt. Die geringen Veränderungen zwischen 1990 und 2010 wurden unter „Ergebnisse zur Startbilanz für das Jahre 1990“ erläutert. Die dann einsetzenden stärkeren CO₂-Minderungen ab dem Jahr 2010 basieren auf der Wirkungskette der EnEV 2009 und des EEWärmeG's sowie der weiteren zukünftigen ordnungsrechtlichen Entwicklungen. Aus heutiger Sicht des Jahres 2015 ist sicherlich kritisch zu hinterfragen, ob die aufgeführten Minderungen bis 2015 in diesem Umfang bereits eingetreten sind bzw. in den verbleibenden Jahren aufgeholt werden müssen.

²⁸ Vgl. Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012, S. 120 und S. 135, Tab. 6.5.

Tab. 7 Untersuchte CO₂-Szenarien bis zum Jahr 2050. (Quelle: Eigene Festlegungen (vgl. Hamann 2014, S. 190))

Szenario
1 „Trend-bau-Baupraxis“, (vollständiger beheizter Nichtwohngebäudebestand) (Trendanahmen zu: Energiemix, Primärenergiefaktoren, CO ₂ -Emissionsfaktoren, Sanierungsrate, Neubaurate, Abrissrate, Heizkennwerte)
2 „Trend bau-Akteursbefragung“ (Teilbestände in Vohwinkel) -Teilbestand private Büros: „Trend-bau-private Büros“ -Teilbestand kirchliche Einrichtungen: „Trend-bau-kirchliche Einrichtungen“ (Einfluss höhere Sanierungsrate und Energiemix mit größerem Anteil erneuerbaren Energien)
3 „Trend-bau-Passivhaus“ (Einfluss optimierter Heizkennwerte)
4 „Trend-bau-kein Flächenzuwachs“ (Einfluss Anpassung Abrissrate an Neubaurate)
5 „Backcasting-Leit“ (Annahme von zielführenden Leitparametern)

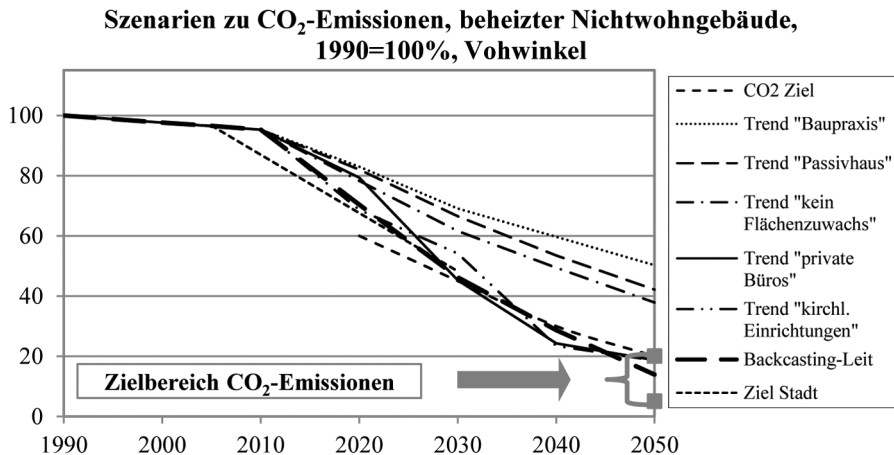


Abb. 4 Ergebnisse und Vergleich der CO₂-Szenarien bis 2050 für Vohwinkel. (Quellen: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 242))

Die Darstellung verdeutlicht beim jeweiligen Szenario und den zugehörigen Schlüsselfaktoren die erreichbaren CO₂-Minderungen. Als Ergebnis war festzustellen, dass nur eine Kombination vieler Maßnahmen zur Zielerreichung führt, da die Trendentwicklung (business as usual) eine Reduzierung um nur etwa 50% erwarten lässt. Die prozentualen Minderungen gemäß resultierendem Leitszenario „Backcasting-Leit“ liegen im Jahr 2050 in Vohwinkel und bezogen auf die absoluten Ergebnisse bei minus 86,1%. Die pro-Kopf-Werte liegen bei minus 80,3%. Die prozentualen pro-Kopf-Werte fallen im Gegensatz zu den absoluten Werten geringer aus, da der Einfluss des Bevölkerungsrückgangs in Wuppertal spürbar wird. Um den Zielbereich in Vohwinkel mit einem pro-Kopf-Wert von minus 80,3% zu erreichen, sind beim beheizten Nichtwohngebäudebestand verschiedene Maßnahmen notwendig, die den Strategien „Effizienz“, „Konsistenz“ und „Suffizienz“ zugeordnet werden können. Zu diesen Maßnahmen werden nachfolgend in Tabelle 8 die Wirkungsanteile (Basis: 100% = Ergebnis Leitszenario) bei den Minderungen zu den CO₂-Emissionen für Wuppertal-Vohwinkel wie folgt aufgeführt:

Tab. 8 Maßnahmen und CO₂-Wirkungsanteile zur Zielerreichung bis 2050 in Vohwinkel. (Quellen: Eigene Berechnungen (vgl. Hamann 2014, S. 246))

Maßnahmen zur zukunftsfähigen Stadtentwicklung (beheizte Nichtwohngebäude) und ihre Wirkungsanteile: Wuppertal-Vohwinkel bis 2050		
Strategie	Maßnahme	Wirkungsanteil
Effizienz: Besser!	Reduzierung Heizenergieverbrauch, Sanierungsrate = 0,65%/a: ausgehend vom Bestand (2010) und von im Mittel 146,61 kWh/(m ² ·a) auf im Mittel 44,5 kWh/(m ² ·a) bei Neubauten und auf 59 kWh/(m ² ·a) bei Sanierungen (Faktor 3 bis 5)	21%
	Steigerung der Sanierungsrate auf mindestens 2%/a	28%
	Vermeidung von baupraktischen Effekten auf den Raumwärmeenergieverbrauch	4%
Konsistenz: Anders!	Energiemix: Erreichen der Anteile an erneuerbaren Wärmeenergien von mindestens 31% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 4,7% Stromanteil für Wärmepumpen	24%
	Energiemix: Steigerung des Anteils erneuerbarer Wärmeenergien auf mindestens 56% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 8,5% Stromanteil für Wärmepumpen	11%
Suffizienz: Weniger!	Vermeidung eines weiteren Flächenzuwachses: Abrissrate = Neubaurate (1%/a)	12%

- Effizienz-Strategie: 53 %
- Konsistenz-Strategie: 35 %
- Suffizienz-Strategie: 12 %

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Heizkennwerte je nach Gebäudekategorie um den Faktor 3 bis 5 verbessert werden müssen. Dies kann beispielweise durch Anpassungen im Bereich der Wärmebrücken, der Luftdichtheit, der Wandstärken und Dämmstoffqualität sowie durch effizientere Heiz- und Lüftungstechnik erfolgen. Die Sanierungsrate muss mindestens zwei Prozent pro Jahr betragen (siehe Tabelle 8).

Der Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien muss die Größenordnung von 56 % zuzüglich 8,5% Stromanteil aus erneuerbaren Energien zur Erschließung von zum Beispiel Umweltwärme erreichen. Ein weiterer Flächenzuwachs ist zu vermeiden. Die Abrissrate muss die Neubaurate neutralisieren.

Auf Grund des abweichenden Energiemixes bei Betrachtungen zum gesamten Stadtgebiet von Wuppertal (Fernwärmeanteil bis 21 % im Jahr 2050) verschieben sich die prozentualen Wirkungsanteile für die Stadtebene wie folgt:

- Effizienz-Strategie: 45 %
- Konsistenz-Strategie: 45 %
- Suffizienz-Strategie: 10 %

6 Nutzen für immobilienökonomische Betrachtungen

Die Untersuchungen und Modellrechnungen zum Stadtteil Vohwinkel und zu Wuppertal zeigen aktuelle Bestandsdaten zu Bruttogrundflächen je Baualtersklasse und Nichtwohngebäudekategorie sowie den Wärmeenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen aus der Raumbeheizung für das Jahr 2010 auf. Mit Hilfe der Szenarien konnten unter anderem die notwendigen Flächenveränderungen hinsichtlich der Neubau-, Sanierungs- und Abrissrate auf Basis der Entwicklungen zu den zukünftigen CO₂-Emissionen aufgezeigt werden. Die Sanierungsrate sollte dabei von derzeit 0,65 % pro Jahr auf mindestens 2 % pro Jahr und die Neubau- sowie Abrissrate sollte ein Prozent pro Jahr betragen. Die Erkenntnisse liefern nicht nur Daten zur bisher unbekannten Bestandssituation und Leitparameter für zukünftige Entwicklungen, die für die Umsetzung der städtischen Klimaschutzziele von Interesse sind, sondern dienen gleichzeitig als Grundlage zu einer ersten Abschätzung des notwendigen Investitionsvolumens.

Das notwendige Investitionsvolumen zu den jährlichen Neubau- und Sanierungsmaßnahmen im Bereich des beheizten Nichtwohngebäudebestands kann beispielsweise für den Zeitraum 2010 bis 2020 auf Basis des Flächenentwicklungsmodells sowie der Neubau- und Sanierungsrate abgeschätzt werden. Im Zeitraum 2010 bis 2020 entfällt dabei die noch junge Baualtersklasse D bei Sanierungsmaßnahmen. Zur Einhaltung der Sanierungsrate werden die Baualtersklassen A bis C anteilig stärker saniert und hierfür spezifische Kosten angenommen. Die Investitionen in die Heiztechnik durch Modernisierungen und den Umstieg auf erneuerbare Wärmeenergien sind ebenfalls von Bedeutung. Dafür wird als Grundlage der jährlich, notwendige prozentuale Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien angenommen. Bei der Abschätzung des Investitionsvolumens zur energetischen Verbesserung des Nichtwohngebäudebestands bleiben Preisanpassungen zur Vereinfachung bei den Betrachtungen bis zum Jahr 2020 unberücksichtigt.

7 Notwendiges Investitionsvolumen am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel bis 2020

7.1 Ergebnisse

Bei der Abschätzung des jährlichen Investitionsvolumens für Ersatzneubauten und wärmeenergetische Sanierungsmaßnahmen auf Grund der Leitparameter zur Erreichung der umweltpolitischen Ziele auf der Stadtebene werden nachfolgend die Ergebnisse aus der Bestandsmodellierung und aus den Szenarien herangezogen. Das jährliche Neubauvolumen kann demnach mit Hilfe der Bestandsflächen je Gebäude-

katégorie und der Neubaurate von einem Prozent abgeschätzt werden. Das Investitionsvolumen zu Sanierungsmaßnahmen bei der Gebäudehülle wird mit Hilfe der jährlichen Sanierungsrate von zwei Prozent abgeschätzt. Zusätzlich ist der Einfluss des Umstiegs auf erneuerbare Wärmeenergien von etwa Null Prozent im Jahr 2010 auf 56 % im Jahr 2050 zu berücksichtigen. Die jährliche Umstiegsrate für den Zeitraum von 40 Jahren kann demnach mit 1,4 % angegeben werden. Die übrigen 44 % betreiben weiterhin eine Heiztechnik auf Basis fossiler Brennstoffe. Die Sanierungsmaßnahmen bis 2020 sehen eine Verbesserung der Bestandsgebäude auf ein vergleichbares energetisches Niveau wie das der Baualtersklasse D vor. Dies wird durch Maßnahmen an Fenster, Fassaden, Dachaufbauten und an der Heiztechnik erreicht.

Zur Ermittlung des jährlichen Investitionsvolumens bis 2020 werden zu den Sanierungs- und Neubauflächen je Hauptkategorie spezifische Kosten in Anlehnung an BKI-Baukosten (**Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern**: Veröffentlichungen zu Baukostenansätzen) angenommen. Dazu wurden etliche BKI-Kostenansätze zu Bauteilen und Neubauflächen recherchiert²⁹ und gerundete Mittelwert gewählt. Abrisskosten sind hierin nicht enthalten, auch keine Baunebenkosten.

Zur Bestimmung der zu sanierenden Dachfläche aus der Bruttogrundfläche wurden mittlere Umrechnungsfaktoren berücksichtigt. Für Vohwinkel können diese beispielsweise mit 2,416 (Non-Profit-Organisationen) bzw. 1,405 (Profit-Organisationen) auf Grund der eigenen GIS-Daten-Auswertung angegeben werden. Mit Hilfe weiterer Faktoren mit Bezug auf die zu sanierenden Dachflächen können die zu sanierenden Fenster- und Fassadenflächen ermittelt und die energetischen Investitionen zur Gebäudehülle abgeschätzt werden. Diese Faktoren wurden auf Grundlage der erstellten Modellgebäude für den Bottom-up-Ansatz³⁰ und den Flächenverhältnissen bei der Gebäudehülle je Nichtwohngebäudekategorie ermittelt.

Zur Abschätzung der bauwirtschaftlichen Investitionen im Bereich der energetisch zu sanierenden Gebäudehülle und Heiztechnik sowie im Neubaubereich werden folgende Kostenansätze berücksichtigt (netto, ohne Baunebenkosten):

- Sanierung Fenster: 500 EUR/m²
- Sanierung Fassade: Je nach Gebäudekategorie werden unterschiedliche Materialien eingesetzt. Zur Vereinfachung werden im Mittel für alle Gebäudekategorien 100 EUR/m² angenommen.
- Sanierung Dach: 70 EUR/m²
- Erneuerung Wärmeerzeuger/Umstieg auf erneuerbare Wärmeenergien: 30 EUR/m²_{BGF}
- Neubau: Kostenansätze siehe Tab. 9 und 10 (dabei sind aktuelle energetische Anforderungen, die bis zum Jahr 2020 relevant sind, berücksichtigt)

Baunebenkosten sind im konkreten Fall separat zu ermitteln und zu ergänzen, da diese im Einzelfall beispielsweise durch Umbauzuschläge stark differieren können.

²⁹ Vgl. BKI, Objektdaten Technische Gebäudeausrüstung, Stuttgart, 2012, S. 510 ff und Baukosten Gebäude, Stuttgart, 2011, S. 82, 124, 140, 214, 512, 520, 526, 554, 560, 566, 574, 582, 612, 640, 648, 656, 664, 670 und Baukosten Bauelemente, Stuttgart, 2011, S. 240–241, 316–317 und 480–484 und Baukosten Positionen, Stuttgart, S. 399.

³⁰ Vgl. Hamann Achim, 2014, S. 56–66.

Die notwendigen jährlichen Investitionen für die Gebäudekategorien werden in den nachfolgenden Tab. 9 und 10 aufgeführt. Dargestellt sind auch die Grundlagen der spezifischen Kostenansätze sowie Neubau- und Sanierungsrate zu den Bruttogrundflächen und die Modernisierungsrate zur Heiztechnik. Weiterhin sind Bruttogrundflächen und die resultierenden, zu sanierenden Bauteilflächen aufgeführt.

Zunächst wird die jährlich zu sanierende Bruttogrundfläche je Gebäudekategorie mit Hilfe der Rate von zwei Prozent pro Jahr aus der Summe der Bruttogrundfläche ermittelt. Darauf wird die zu sanierende Dachfläche bezogen und schließlich die zu sanierende Fenster- und Fassadenfläche ermittelt. Hierfür werden die zuvor berechneten spezifischen Umrechnungsfaktoren berücksichtigt.

Die Neubaulfläche ergibt sich auf Basis der Neubaurate von einem Prozent pro Jahr. Die Modernisierung der Heiztechnik wird mit Bezug zur Bruttogrundfläche auf Grundlage der 1,4 % pro Jahr berechnet. Letztlich werden die Flächen mit den spezifischen Kosten verknüpft und die Investitionen ermittelt.

Für den Stadtteil Wuppertal-Vohwinkel kann eine notwendige jährliche Investitionssumme von rund 13,6 Mio. Euro bis zum Jahr 2020 abgeschätzt werden, wobei jährlich etwa 3,4 Mio. Euro in die Bestandssanierung und 10,2 Mio. Euro in Ersatzneubauten zu investieren sind. Für den Gesamtzeitraum von zehn Jahren (2010 bis 2020) sind rund 136 Mio. Euro (ohne Preissteigerung) zu investieren.

Mit Hilfe einer Hochrechnung kann das jährliche Investitionsvolumen für das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal auf etwa 148 Mio. Euro geschätzt werden, wovon rund 37 Mio. Euro pro Jahr in energetische Sanierungsmaßnahmen zu investieren sind.

8 Diskussion

Die gewonnenen Erkenntnisse zu den jährlichen Investitionssummen je Nichtwohngebäudekategorie gemäß Tab. 9 und 10 kann von der Politik, von der städtischen Verwaltung und den kommunalen Akteuren genutzt werden, damit die einzelnen Branchen und Akteursgruppen gezielt in den Fokus gerückt und Umsetzungsprozesse initiiert werden. Die sich daraus ableitbaren Handlungsempfehlungen unterstützen das Erreichen der städtischen Klimaschutzziele. Beispielsweise sind der Wirtschaftsbau und insbesondere die Bereiche Produktion, Büronutzung und Kleingewerbe sowie deren Akteure vordergründig zu Maßnahmen zu bewegen. Dies ist auf Grund der CO₂-Emissionsanteile bei den Profit-Organisationen gemäß Tab. 5 mit rund 82 % und den resultierenden notwendigen Investitionen gemäß Tab. 10 im Vergleich zu anderen Gebäudekategorien erkennbar. Auch sollten weiterhin alle Bildungseinrichtungen, ob in kommunaler oder kirchlicher Trägerschaft, sofern nicht durch das Konjunkturprogramm bereits saniert, energetisch modernisiert werden. Im Sinne einer Reihenfolge mit Bezug auf Nichtwohngebäudekategorien sollten daher zunächst die Büro- und Produktionsgebäude, die beheizten Lager und Kleinwerkstätten sowie die Bildungseinrichtungen modernisiert werden, damit umfangreiche CO₂-Minderungen kurzfristig eintreten.

Auf Grund des Kostenvergleichs in Vohwinkel hinsichtlich Sanierung (3,4 Mio. Euro pro Jahr) und zum Neubau (10,2 Mio. Euro pro Jahr) ist ein Investitionsver-

Tab. 9 Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Non-Profit-Organisationen (Quelle: Eigene Berechnungen)

Gebäudekategorie	Non-Profit-Organisationen							
	1 Bildung	2 Verwaltung	3 Bereitschafts- dienste	4 Heilbe- handlung	5 Sport	6 Kultur	7 Justiz- vollzug	8 kirchl. Einrichtung
BGF-Fläche Bk A (m ²)	9.623	1.364	0	0	380	3.694	0	3.320
BGF-Fläche Bk B (m ²)	46.100	350	1.315	0	5.565	3.462	0	7.998
BGF-Fläche Bk C (m ²)	9.920	2.344	531	9.714	3.300	826	43.514	1.812
BGF-Fläche Bk D (m ²)	19.096	0	0	7.356	2.060	499	0	0
BGF-Summe Bk A-D (m ²)	84.739	4.058	1.846	17.070	11.305	8.481	43.514	13.130
Jährliche Neubaufäche (BGF), 1 %/a	847	41	18	171	113	85	435	131
Kostenansatz Neubau (EUR/m ²)	1.420	1.360	1.100	1.500	1.500	1.900	1.200	1.400
Jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, Σ (BGF A-D)	1.695	81	37	341	226	170	870	263
Zu sanierende Dachfläche (m ²), 2 %/a BGF/2,416	701	34	15	141	94	70	360	109
Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m ²)	70	70	70	70	70	70	70	70
Austausch Heiztechnik, Bezug Σ BGF (m ²), 1,4 %/a	1.186	57	26	239	158	119	609	184
Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m ² BGF)	30	30	30	30	30	30	30	30
Zu sanierende Fassadenfläche (m ²), 2 %/a	1.007	110	12	464	112	101	652	197
Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m ²)	100	100	100	100	100	100	100	100
Zu sanierende Fensterfläche (m ²), 2 %/a	403	27	0	114	13	40	178	54
Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m ²)	500	500	500	500	500	500	500	500
Jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	387.033	28.636	3.112	120.456	29.080	38.736	197.807	59.687
Jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	1.203.294	55.189	20.306	256.050	169.575	161.139	522.168	183.820
Jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	1.590.327	83.824	23.418	376.506	198.655	199.875	719.975	243.507
Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10 Jahre	15.903.266	838.244	2.34.179	37.65.060	1.986.551	1.998.747	7.199.752	2.435.067

Tab. 10 Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Profit-Organisationen. (Quelle: Eigene Berechnungen)

Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer Gebäudekategorie	Profit-Organisationen									
	9 Büro	10,1 Produktion	10,2 Lager, Logistik	10,3 Kleingewerbe	11 Heilbe- handlung	12 Handel	13 Kino, Spielothek	14 Hotel		
BGF-Fläche Bk A (m²)	9.078	20.847	186	844	3.344	9.943	0	4.114		
BGF-Fläche Bk B (m²)	73.623	208.265	33.179	52.346	774	37.385	1.170	3.904		
BGF-Fläche Bk C (m²)	21.697	65.616	30.897	32.393	13.268	9.587	0	488		
BGF-Fläche Bk D (m²)	18.082	21.048	21.349	1.742	0	17.225	850	4.056		
BGF-Summe Bk A-D (m²)	122.480	315.776	85.611	87.325	17.386	74.140	2.020	12.562		
Jährliche Neubaufäche (BGF), 1 %/a	1.225	3.158	856	873	174	741	20	126		
Kostenansatz Neubau (EUR/m²)	1.360	1.060	630	1.090	1.500	900	1.500	1.500		
Jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, Σ(BGF A-D)	2.450	6.316	1.712	1.746	348	1.483	40	251		
Zu sanierende Dachfläche (m²), 2 %/a BGF / 1,405	1.743	4.495	1.219	1.243	247	1.055	29	179		
Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m²)	70	70	70	70	70	70	70	70		
Austausch Heiztechnik, Bezug ΣBGF (m²), 1,4 %/a	1.715	4.421	1.199	1.223	243	1.038	28	176		
Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m²BGF)	30	30	30	30	30	30	30	30		
Zu sanierende Fassadenfläche (m²), 2 %/a	2.790	2.513	974	993	495	633	16	358		
Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m²)	100	100	100	100	100	100	100	100		
Zu sanierende Fensterfläche (m²), 2 %/a	436	414	7	7	124	106	0	98		
Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m²)	500	500	500	500	500	500	500	500		
Jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	670.380	905.320	222.289	226.740	135.996	221.106	4.699	102.732		
Jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	1.665.728	3.347.220	539.347	951.840	260.790	667.260	30.300	188.430		
Jährliche Investitionssumme Sanierung+ Neubau (EUR/a)	2.336.108	4.252.541	761.637	1.178.580	396.786	888.366	34.999	291.162		
Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10 Jahre	23.361.077	42.525.408	7.616.367	11.785.803	3.967.856	8.883.661	349.986	2.911.621		

hältnis von etwa eins zu drei festzustellen, obwohl im Vergleich die Sanierungsrate mindestens doppelt so hoch sein soll wie die Neubaurate. Dies kann mit insgesamt deutlich höheren Kosten für Neubauten im Vergleich zu energetischen Sanierungen relevanter Bauteile begründet werden. Beim Neubau sind zusätzlich die gesamte Konstruktion und der Ausbau zu realisieren. Aus energetischer Sicht ist damit die Sanierung zu favorisieren, da bei gleichem Investitionsvolumen ein deutlich größerer Effekt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen erreicht wird. Dazu sind Rahmenbedingungen zur Steigerung der Sanierungsrate zu schaffen und Handlungsempfehlungen für die Umsetzung aufzubereiten.

9 Fazit

Es wurde zur Bestimmung der Ist-Situation hinsichtlich der CO₂-Emissionen auf der Stadtebene ein Bestandsmodell auf Basis von örtlich überprüften GIS-Daten zum Bilanzraum des Stadtteils Vohwinkel erstellt. Das Modell wurde für Abschätzungen zum gesamten Stadtgebiet (Bilanzraum Stadt Wuppertal) erweitert und auf den Stadtteil Vohwinkel sowie die Stadt Wuppertal angewendet.

Insgesamt wird festgestellt, dass die CO₂-Emissionen aus der Erzeugung der Raumwärme für Nichtwohngebäude in etwa bei 13 % der CO₂-Gesamtemissionen liegen. Bezogen auf den gesamten Raumwärmesektor (inklusive Wohngebäude) liegt der Anteil der CO₂-Emissionen aus beheizten Nichtwohngebäuden bei etwa 42 %. Der Anteil der CO₂-Emissionen der Wirtschaftsbauten beträgt davon rund 82 %. Die Non-Profit-Organisationen verursachen die übrigen etwa 18 %.

Mit Hilfe des Bestandsmodells konnte ergänzend die Startbilanz zum Jahr 1990 erstellt und CO₂-Szenarien bis zum Jahr 2050 berechnet werden, wobei die Schlüsselfaktoren variiert wurden.

Im Vergleich zum Jahr 1990 liegen im Jahr 2010 die absoluten CO₂-Emissionen aus der Raumwärme von Nichtwohngebäuden in Vohwinkel erst bei etwa minus fünf Prozent.

Der sich abzeichnende Trend lässt eine Minderung bis zum Jahr 2050 auf etwa 50 % erwarten. Um eine mindestens 80-prozentige CO₂-Reduzierung bis zum Jahr 2050 zu erreichen, sind zusätzliche Anstrengungen notwendig und mit folgenden fünf Maßnahmen umsetzbar:

1. Die energetische Sanierungsrate ist kurzfristig von 0,65 % auf mindestens 2 % pro Jahr (Faktor 3) zu steigern und bis 2050 beizubehalten.
2. Die erneuerbaren Wärmeenergien sind bis 2050 in Bereichen ohne Fernwärme auf 56 % anzuheben, zuzüglich 8,5 % Heizstrom für Wärmepumpen aus erneuerbaren Energien.
3. Der Flächenneubau ist mit einer gleichgroßen Abrissrate auszugleichen, ein weiterer Flächenzuwachs ist zu vermeiden.
4. Die baupraktischen Einflüsse sollten nicht weiterhin zu höheren Verbräuchen führen, als diese planmäßig angedacht sind (Verbesserung der Ausführungsqualität durch Weiterbildung und Sensibilisierung der Handwerker, Planer und Bauleiter).

5. Der Heizenergieverbrauch muss je nach Gebäudekategorie mindestens um den Faktor drei bis fünf durch Verbesserung der Gebäudehülle und Heiztechnik reduziert werden.

Diese Maßnahmen verursachen notwendige Investitionskosten, die am Beispiel des Stadtteils Wuppertal-Vohwinkel und der Stadt Wuppertal für den Zeitraum bis zum Jahr 2020 abgeschätzt wurden. Dabei ist feststellbar, dass bei gleichem bauwirtschaftlichen Investitionsvolumen die Sanierung zur Zielerreichung zu favorisieren ist.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die uneingeschränkte Nutzung, Verbreitung und Wiedergabe für beliebige Zwecke erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- ages-GmbH. (Hrsg.). (2010) Verbrauchskennwerte 2005, 3. Aufl., gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- BKI. (2011). Objektdaten Technische Gebäudeausrüstung, Stuttgart, 2012 und Baukosten Gebäude, Stuttgart, 2011 und Baukosten Bauelemente, Stuttgart, 2011 und Baukosten Positionen, Stuttgart, 2011.
- Brendel Cordula, Stadt Wuppertal. (2012). unveröffentlichte Daten zu dezentralen, nicht-leitungsgebundenen Heizungsanlagen.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. (Hrsg.). (2009). Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, Vergleichswerte für Energieausweise.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (Hrsg.). (2011). Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe, Berechnungen für das Jahr 2010.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). (Hrsg.). (2011). Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (Hrsg.). (2009). Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (Hrsg.). (2011). Wohnen und Bauen in Zahlen.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (Hrsg.). (2011). Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011.
- Christine, S., Brakhage, A., et al. (2003). Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch.
- DIN V 18599. (2011). Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 1 bis 11, Ausgabe 2011–12.
- GERTEC, Essen. (Hrsg.). (2012). Stadt Wuppertal: CO₂-Bilanz 1990–2009.
- Gülec, T., Sven, K., Lothar, R. (1994). Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle. Forschungszentrum Jülich (Hrsg.).
- Hamann, A. (2012). *Nachhaltige Immobilienwirtschaft am Beispiel der Abwasserwärmenutzung, Technische Grundlagen, Sachstand in Deutschland und wirtschaftliche Vergleiche unter Berücksichtigung der Anforderungen des EEWärmeG und der EnEV*. München: Oldenbourg Industrieverlag.
- Hamann, A. (2014). *Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren – Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal*. München: oekom Verlag.
- Hamann, A., Manfred, H., Oscar, R. (2013). *Modell zur Bestandssituation bei beheizten Nichtwohngebäuden in Deutschland, HLH Bd. 64 (2013) Nr.1-Januar*. Düsseldorf: Springer VDI Verlag.
- Oscar, R., Bierwirth, A., et al., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. (Hrsg.). (2012). Low Carbon City Wuppertal 2050, Sondierungsstudie – Abschlussbericht.
- Rolf, V. (2013). Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, telefonische Auskunft.

- Susanne, H., Christian, K., et al. (2011). Struktur der Investitionstätigkeit in den Wohnungs- und Nichtwohnungsbeständen.
- Umweltbundesamt. (Hrsg.). (2007). Nachhaltige Wärmeversorgung, Sachstandsbericht.
- Wuppertaler Stadtwerke. (2013). Unveröffentlichte Tabelle zum Wärmeenergieverbrauch in Vohwinkel.